

光音響法による不顕性歯牙う蝕の検出に関する研究

著者	小山 卓耶
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	360-361
発行年	2018-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00123582

修士学位論文要約（平成30年3月）

光音響法による不顕性歯牙う蝕の検出に関する研究

小山 卓耶

指導教員：松浦 祐司

Detection of hidden dental caries by using photoacoustic imaging

Takuya KOYAMA

Supervisor: Yuji Matsuura

An optical fiber-based photoacoustic imaging system is proposed for detecting caries lesions inside teeth. Hidden caries models were prepared using a pigment with an absorption spectrum similar to that of real caries lesions, and the occlusal surface of the model teeth with the pigment inside were irradiated with laser pulses at a 532-nm wavelength. Examination of the frequency spectra of the emitted photoacoustic waves revealed that those from simulated caries lesions included frequency components of 0.5–1.2 MHz that were not seen in those from healthy parts. This indicated that hidden caries can be detected by a photoacoustic imaging technique. An imaging system for clinical applications was fabricated. It consisted of a bundle of hollow optical fibers for laser radiation and an acoustic probe that was attached to a tooth's surface. Results of ex vivo imaging experiments using model teeth and an extracted tooth with hidden caries lesions showed that caries lesions inside teeth that were not seen on visual inspection were detected by focusing on the aforementioned frequency components of the photoacoustic waves.

1. はじめに

不顕性う蝕は、歯牙咬合面のエナメル質表面は健康に見えるが、内部ではエナメル質から象牙質まで侵襲が進んでいるう蝕のことである。このようなう蝕は、視診による診断が行えないため、X線画像による診断を主としているが、X線撮像は侵襲的な手法であり、また観察できるのは進行したう蝕に限られる。このため、咬合面からの歯牙内部の有効な診断方法が求められている。

光音響法は、生体表面下の形態情報を非侵襲にイメージングできる手法であり、軟組織を中心としてさまざまな組織への適用が行われている。一方、硬組織である歯への適用も行われており、う蝕の検出も試みられている^{1,2)}。本研究では、光音響法を用いた不顕性う蝕のイメージング手法を提案し、中空光ファイバを用いたイメージングシステムの構築を行った。

2. 不顕性う蝕の光音響特性

まず、図1に示す測定系を用いて、光音響法により不顕性う蝕の検出が行えるか実験を行った。音響波の励起用光源としては、波長532 nmのマイクロチップレーザを用い、パルスエネルギー1 mJ、パルス幅1.2 nsecのレーザ光を歯牙の咬合面から入射した。通常、光音響法では、試料表面との音響インピーダンスマッチングのために、試料から発生する超音波を水中に伝搬させた後に検出するが、本手法では臨床への適用を考慮し、柔軟なポリマー性コーティングが施されたコンポジット型音響プローブを歯冠側の表面に取り付けて音響

波を検出した。不顕性う蝕のモデルとしては、図2に示すように、抜去後の健康な大白歯を歯髓腔からエナメル質と象牙質の境界まで穿孔し、そこに一般的なう蝕の色を模擬した色素を注入したものを用いた。なおこの色素は、う蝕の吸収スペクトルを測定し、その吸収特性と類似するスペクトルをもつように合成したものである。

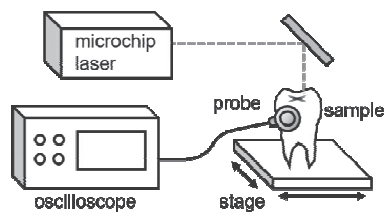


図1 モデル歯牙を用いた測定系

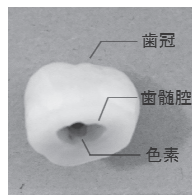


図2 不顕性う蝕のモデル

図3に、波長532 nmのレーザ光を、歯牙表面の咬合面から、健康部位と模擬したう蝕部位のそれぞれに照射した際に得られた光音響波形を示

す。図3のようにう蝕部位において、レーザ照射後およそ数 μsec から30 μsec の範囲に高い周波数成分を含む波形が得られた。これらの結果から、可視光のレーザを用いることで、歯牙内部の色素により、健常部で発生するものと異なる光音響信号が発生することを確認できた。

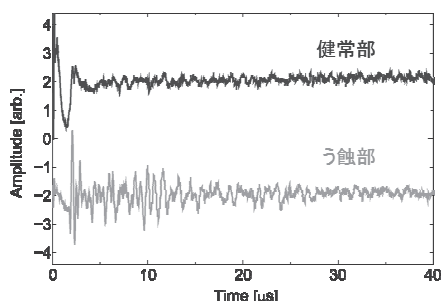


図3 可視光レーザにより励起された音響波形

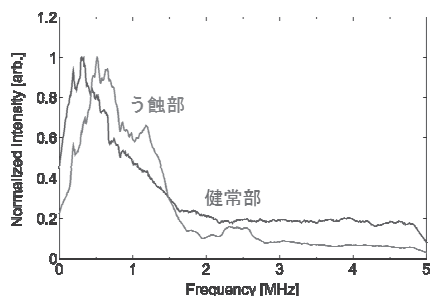


図4 得られた音響波の周波数スペクトル

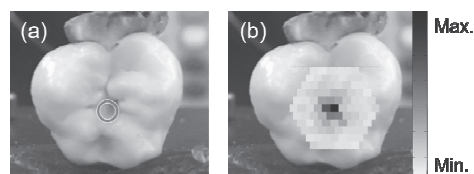
図4に、図3の健常部、う蝕部それぞれの時間波形をフーリエ変換した結果を示す。なお各スペクトルは、ノイズ抑制のため中央移動平均処理を施してある。これらのスペクトルの差分を計算して比較を行った結果、0.5~1.2 MHzの周波数帯域で、う蝕部において発生した音響波の成分が強く現れていることが分かった。これは、う蝕部で発生した音響波の周波数成分の内、プローブの周波数特性によって、この周波数帯域の成分が強調された結果現れたものであると考えられる。

3. 不顕性う蝕のイメージング

光音響法を用いる場合、臨床においては、口腔内へレーザ光を入射する必要があるため、光ファイバなどの伝送路が必要である。そこで本研究では、中空光ファイバを用いた不顕性う蝕イメージングシステムの構築を行った。内径が320 μm 、長さが40 cmの中空光ファイバ91本を、六方最密格子状に束ねてバンドル化し、レーザ光の伝送に用いた。

図5に、このシステムを用いて不顕性う蝕モデルのイメージングを行った結果を示す。結果は、バンドルの各ファイバから出射されたレーザ光によって励起さ

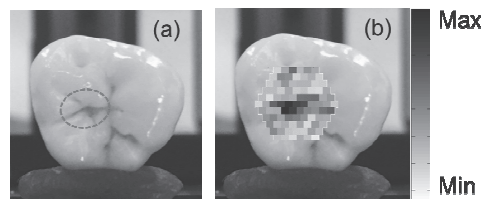
れた音響波の、0.5~1.2 MHzのスペクトル強度の積分値を表示したものである。この結果から、表面より1 mm程度内部に存在する疑似う蝕付近に強度が高い部分が現れており、う蝕イメージングに成功した。



(a) 咬合面とう蝕位置 (b) イメージング結果

図5 う蝕モデルのイメージング結果

最後に、本手法の実証実験として、*ex-vivo* における実際の不顕性う蝕歯のイメージングを行った。図6に、用いたう蝕歯咬合面の可視像、および光音響イメージング結果を示す。図6(a)の可視像ではう蝕は確認できないが、X線CTにより図中の楕円部の内部にう蝕が存在することを確認した。図6(b)の光音響イメージング結果より、う蝕が存在するとみられる咬合面裂溝部において、高強度の部分が現れ、実際の不顕性う蝕歯における本手法の有効性が実証される結果となった。



(a) う蝕歯咬合面 (b) イメージング結果

図6 実際の不顕性う蝕歯への適用

4. まとめ

本研究では、不顕性う蝕の検出のため、可視光を用いた光音響法を適用し、う蝕のイメージングを試みた。不顕性う蝕を模擬したサンプル咬合面にレーザを照射すると、疑似う蝕付近において、0.5~1.2 MHzの高周波成分を含む音響波が得られた。中空光ファイバを用いたレーザ光伝送システムを構築し、音響波の高周波成分をもとにイメージングを試みた結果、不顕性う蝕のイメージングに成功した。

文献

- 1) D. A. Hughes, A. Sampathkumar, C. Longbottom, and K. J. Kirk, J. Phys. Conf. Ser. 581, 012002 (2015).
- 2) R. Cheng, J. Shao, X. Gao, C. Tao, J. Ge, and X. Liu, Sci. Rep. 6, 217998 (2016).